



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 21 368 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁷:
H 02 K 7/06
H 02 K 11/00

②1 Aktenzeichen: 100 21 368.5
②2 Anmeldetag: 2. 5. 2000
②3 Offenlegungstag: 15. 11. 2001

DE 100 21 368 A 1

⑦1 Anmelder:
DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
e.V., 53175 Bonn, DE

⑦4 Vertreter:
von Bülow, T.,
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dr. rer. pol., Pat.-Anw.,
81545 München

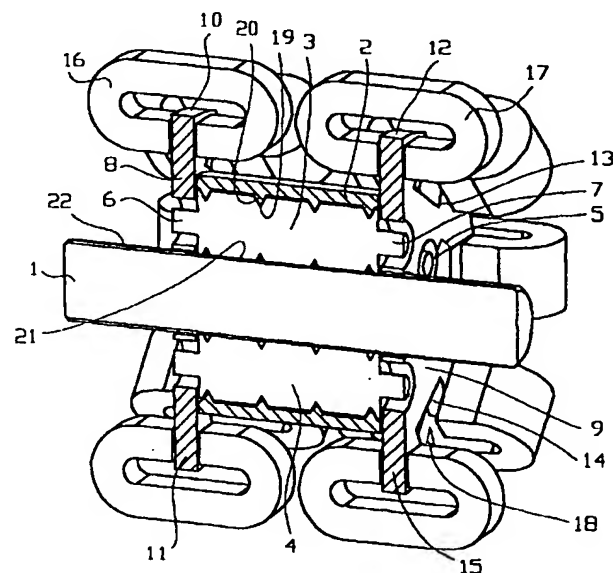
⑦2 Erfinder:
Balasz, Matthias, 82284 Grafrath, DE; Hähle,
Matthias, 80636 München, DE; Bajcinca, Naim,
82211 Herrsching, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 **Mechatronischer Aktuator**

⑤7 Der mechatronische Aktuator hat ein Getriebe, bei dem mindestens ein Getriebeelement (1, 2, 3-5, 10-15, 24, 25) gleichzeitig als elektromotorisches Rotorelement ausgebildet ist und mit einem mehrere Magnetfeldspulen (16, 17) aufweisenden Statorelement einen elektromotorischen Wirkkreis bildet (Fig. 1).



DE 100 21 368 A 1

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen mechatronischen Aktuator gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Ein derartiger Aktuator ist aus der DE 195 11 287 A1 bekannt, der dort als Betätigungseinrichtung für eine Scheibenbremse dient. Dieser Aktuator weist einen elektronisch kommutierbaren Elektromotor (Torque-Motor) mit in einem Gehäuse angeordneten Statorspulen auf, die einen Hohlwellenrotor umschließen. Der Hohlwellenrotor besteht aus einem ringförmigen Trägerteil, an dessen Außenseite mehrere Permanentmagnetsegmente angeordnet sind, die mit den Statorspulen einen magnetischen Wirkkreis bilden. Der Hohlwellenrotor ist über das Trägerteil und eine Paßfeder drehfest mit einer Innengewindemutter eines Rollengewindegetriebes verbunden. Das Rollengewindegetriebe besteht aus einer axial verschiebbaren Gewindespindel, die als Betätigungselement der Scheibenbremse dient, sowie mehreren Gewinderollen, die planetenartig in Umfangsrichtung versetzt zwischen der Innengewindemutter und der Gewindespindel angeordnet sind und die durch Führungsscheiben radial geführt und axial fixiert sind. Eine vom Torque-Motor, d. h. von den Statorspulen und dem Hohlwellenrotor erzeugte Drehbewegung wird über die Paßfeder auf die Innengewindemutter des Rollengewindegetriebes übertragen und durch die Gewinderollen in eine Axialbewegung der Gewindespindel umgewandelt.

[0003] Aus der EP 0 320 621 A1 ist ein ähnlicher mechanischer Linearantrieb bekannt, der eine Umwandlung einer Drehbewegung in eine Axialbewegung ermöglicht. Der Linearantrieb weist eine Spindelstange mit einer Außenprofilierung auf, ein die Spindelstange umschließendes Hohlrad mit einer Innenprofilierung und Planetenrollen, die in Umfangsrichtung versetzt zwischen der Spindel und dem Hohlrad angeordnet sind. Die Planetenrollen weisen an ihren Außenseiten jeweils zwei verschiedene Profilierungen auf, wobei die eine Profilierung in Axialrichtung in die Außenprofilierung der Spindel und die andere Profilierung in die Innenprofilierung des Hohlrades eingreift. Bei einer Ausführungsform ist außen an der Spindel ein Feingewinde mit geringer Steigung vorgesehen. Die Planetenrollen weisen eine entsprechend dem Spindelgewinde ausgebildete Teilung in Form von nebeneinander angeordneten Rillen auf, die in das Spindelgewinde eingreifen. Damit alle Planetenrollen exakt in die Gewindesteigung der Spindel eingreifen, sind die spindelseitigen Rillen der einzelnen Planetenrollen von Rolle zu Rolle mit einem bestimmten Teilungsversatz angeordnet. Die Innenprofilierung des Hohlrades ist durch mehrere V-förmige Rillen gebildet, in die eine entsprechend gestaltete V-förmige Außenprofilierung der Planetenrollen eingreift. Wird die Spindel relativ zum Hohlrad gedreht, so führt dies zu einer axialen Relativverschiebung der Spindel gegenüber dem Hohlrad bzw. den Planetenrollen. Ein Ende der Spindel ist mit einem Antriebsmotor, wie z. B. einem Elektromotor, koppelbar. Im weiteren Sinne kann obiger Linearantrieb als Getriebe bezeichnet werden.

[0004] Aus der DE 197 36 734 A1 ist eine Vorrichtung zur Umwandlung einer Drehbewegung in eine Translationsbewegung bekannt, die aus einem Wälztrieb mit Planetenrädern und zwei Hohlrädern besteht.

[0005] Weiter ist es allgemein bekannt, Motor und Getriebe nicht nur aufeinander abzustimmen, sondern auch in ein gemeinsames Gehäuse zu integrieren, wodurch z. B. Gehäuseteile eingespart werden.

[0006] Aus der WO 89/03490 A1 beispielsweise ist ein elektrischer Scheibenbremsaktuator bekannt, bei dem an ein Gehäuse eines Bremssattels ein Elektromotor angeflanscht

ist.

[0007] Konventionelle Motor-Getriebe-Kombinationen besitzen meist als limitierende Faktoren eine relativ aufwendige Lagerung, eine relativ hohe Anzahl von Teilen, haben einen großen Raumbedarf und hohe Herstellkosten. Wünschenswert ist es, diese Nachteile zu vermeiden.

[0008] Aufgabe der Erfindung ist es daher, einen mechatronischen Aktuator zu schaffen, der einen geringen Raumbedarf hat, aus einer geringen Anzahl von Teilen besteht und mit geringeren Herstellkosten fertigbar ist.

[0009] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

[0010] Das Grundprinzip der Erfindung besteht darin, daß ein elektromotorisches Teil, d. h. ein Teil, das mit mehreren Magnetfeldspulen einen elektromotorischen Wirkkreis bildet, gleichzeitig ein Getriebeelement ist. Durch diese Doppelfunktion spart man ein Motor- oder Getriebeteil ein, verringert die Baugröße und die Herstellkosten.

[0011] Es werden also nicht, wie im Stand der Technik – z. B. in der eingangs erwähnten DE 195 11 287 A1 – nur zwei selbständige Baugruppen (kompletter Motor und komplettes Getriebe) miteinander gekoppelt (dort durch eine Paßfeder), sondern eine Funktionsvereinigung vorgeschlagen und zwar derart, daß der Stator des Elektromotors direkt und unmittelbar eines oder mehrere Aktuatorbauteile antreibt, die damit wesentliches Funktionselement auch des Motors sind. Mit anderen Worten ist gemäß der Erfindung gerade keine funktionelle Trennung zwischen elektromotorischen Komponenten und Aktuator- bzw. Getriebekomponenten möglich, da mindestens eine Getriebekomponente gleichzeitig auch eine elektromotorische Komponente ist.

[0012] Der durch die Magnetfeldspulen, d. h. durch den Stator erzeugte magnetische Fluß treibt direkt den Rotor an, d. h. eines oder mehrere Getriebebauteile werden durch die erzeugten Magnetfelder in Drehbewegung versetzt. Als Getriebe können insbesondere Umlaufgetriebe verwendet werden, die z. B. auf dem eingangs genannten Prinzip der "Planeten-Wälz-Gewindespindel" oder auf Rollengewindegetrieben bzw. auf einem Planetengetriebe basieren, Reibradgetriebe, Cyclo- bzw. Kurvenscheiben-Exzentergetriebe oder sogenannte "Harmonic Drive"- bzw. Ellipsoid-Umlaufgetriebe. Als Getriebe eignen sich insbesondere axialsymmetrische Bauarten mit rotatorischem Antrieb.

[0013] So kann z. B. die Mutter oder das Hohlrad des Getriebes gleichzeitig der Rotor des Elektromotors sein, oder es können die Planeten eines Getriebes den magnetischen Fluß zwischen den Statorpolen weiterleiten.

[0014] Ferner können verschiedene bekannte elektromotorische Antriebsprinzipien verwendet werden, wie z. B. das sogenannte Switched-Reluctance-Prinzip (SR), das Asynchronprinzip (AS), das Synchronprinzip (SY) oder das Stepper-Prinzip (ST).

[0015] Mit der Erfindung ist eine Integration von Getriebe und Motor möglich. Da einzelne Bauteile sowohl eine elektromotorische als auch eine mechanische Getriebefunktion übernehmen, lassen sich im Vergleich zu herkömmlichen Bauarten der Raumbedarf und Kosten verringern. Zusätzlich kann eine mechanische Bremse sehr platzsparend vorgesehen bzw. integriert sein. Je nach Anwendung können zusätzlich Sensoren wie z. B. Drehwinkelsensoren, Drehmomentensensoren, Temperatursensoren in den mechatronischen Aktuator integriert sein. Je nach Anwendung kann mit der erfindungsgemäßen Konstruktion auf die bislang notwendige Lagerung sowie auf ein Wegmeßsystem vollständig verzichtet werden, was weitere Vorteile hinsichtlich Raum und Kosten bringt.

[0016] Grundsätzlich können bei der erfindungsgemäßen Integration von Getriebe und Motor verschiedene Motorprinzipien verwendet werden. Eine Unterteilung ist z. B. nach der Richtung des magnetischen Flusses im Luftspalt zwischen den Magnetfeldspulen und dem Rotor möglich oder nach den Bauelementen, die sowohl mechanisch als auch elektrisch und/oder magnetisch genutzt werden.

[0017] Der magnetische Fluß wird vorzugsweise von Magnetfeldspulen erzeugt, die jeweils um einen Weicheisenkern gewickelt sein können und die in ihrer Gesamtheit als Statorpol bezeichnet werden können. Der Fluß im Statorpol folgt dabei vereinfachend der Symmetrieachse des Kerns. An Enden der Statorpole tritt der magnetische Fluß über einen Luftspalt auf kürzestem Wege in die nächstgelegenen Rotorpole über. Die Hauptflußrichtung ist dabei nur dann genau senkrecht durch Polflächen gerichtet, wenn die Statorpole und die Rotorpole ausgerichtet sind, d. h. wenn sie sich gegenüberliegen. Sind die Pole nicht genau aufeinander ausgerichtet, so verläuft der Fluß auf kürzestem Weg zwischen den Polen.

[0018] Betrachtet man die Polflächen, so können sie bevorzugt in axialer Richtung oder in radialer Richtung angeordnet sein. Radiale Anordnungen der Polflächen sind insbesondere in Kombination mit dem Synchron-, Asynchron- oder Switched-Reluctance-Prinzip möglich. Axiale, d. h. achsparallele Polflächen, eignen sich am besten in Kombination mit dem Switched-Reluctance-Prinzip. Es ist jedoch auch eine Kombination von axialen und radialen Polanordnungen möglich.

[0019] Bei Elektroantrieben gilt ganz allgemein, daß die vom magnetischen Fluß durchströmte Fläche und deren mittlerer Wirkradius, d. h. der Hebelarm um die Drehachse, die Leistung des Elektromotors ganz wesentlich bestimmen. Es ist somit von Vorteil, wenn die durch die magnetischen Felder erzeugte motorische Wirkung an einem großen Hebelarm und an großen Polflächen angreift. Bei dem eingangs genannten Getriebe, das nach dem Prinzip der Planeten-Wälz-Gewindespindel arbeitet, kommt begünstigend hinzu, daß wegen der möglichen sehr geringen Gesamtsteigung auch nur relativ geringe Antriebsmomente und damit auch nur relativ geringe elektrische Motorleistungen für die Erzeugung großer Axialkräfte erforderlich sind. Wegen der konstruktiv meist leichter zu realisierenden großen vom Magnetfeld durchströmten Flächen auf großem Radius, d. h. mit großem Hebelarm, sind bei radialen Anordnungen der Polflächen größere Wirkungsgrade und Leistungen erzielbar als bei axialen Anordnungen.

[0020] Für einen Magnetfluß radial zur Rotationsachse des Motors eignen sich primär das Switched-Reluctance-Prinzip und das Stepper-Prinzip.

[0021] Für einen Magnetfluß parallel zur Rotationsachse des Elektromotors eignen sich primär das Switched-Reluctance-Prinzip, das Stepper-Prinzip, das Asynchronprinzip und das Synchronprinzip.

[0022] Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert.

[0023] Es zeigen:

[0024] Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel eines distanzscheibengetriebenen integrierten Linearantriebes;

[0025] Fig. 2 einen Schnitt durch einen muttergetriebenen bzw. hohlradgetriebenen integrierten Linearantrieb;

[0026] Fig. 3 eine perspektivische Ansicht eines muttergetriebenen bzw. hohlradgetriebenen integrierten Linearantriebes;

[0027] Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel eines planetensatzgetriebenen integrierten Linearantriebes mit Permanentmagneten;

[0028] Fig. 5 einen distanzscheibengetriebenen integrierten Linearantrieb mit Permanentmagneten; und

[0029] Fig. 6 ein Ausführungsbeispiel mit einem Ellipsoid-Umlaufgetriebe.

[0030] Fig. 1 zeigt einen Axialschnitt eines distanzscheibengetriebenen integrierten Linearantriebes. Der Linearantrieb weist eine Spindel bzw. Spindelstange 1, ein Hohlrad 2 und mehrere zwischen der Spindel 1 und dem Hohlrad 2 in Umfangsrichtung der Spindel 1 verteilt angeordnete Planetenrollen auf, wobei hier lediglich die Planetenrollen 3, 4 und 5 zu erkennen sind. Die Planetenrollen 2-5 weisen zapfenartige Enden 6, 7 auf, über die sie in Distanzscheiben 8, 9 drehbar gelagert und somit zusätzlich in Umfangsrichtung relativ zueinander positioniert sind. Zur Lagerung können beispielsweise Gleitlager oder Wälzlager (nicht dargestellt) verwendet werden.

[0031] Die Distanzscheiben 8, 9 sind zusammen mit den Planetenrollen 3-5 um die Spindel 1 drehbar. Im Außenbereich der Distanzscheiben 8, 9 sind jeweils mehrere radial abstehende Polstücke 10-15 vorgesehen. Ferner sind den beiden Distanzscheiben 8, 9 jeweils mehrere Magnetfeldspulen 16, 17 zugeordnet, die in Umfangsrichtung verteilt angeordnet und die hier nur schematisch dargestellt sind. Die Magnetfeldspulen 16, 17 haben die Form von "Klammern" bzw. sind C-förmig und weisen jeweils Luftspalte 18 auf, in die die Polstücke 10-15 ragen. Durch eine geeignete elektrische Ansteuerung der Magnetfeldspulen 16, 17 wird in den Luftspalten 18 ein magnetischer Fluß erzeugt, der die Polstücke 10-15 durchsetzt und die Distanzscheiben 8, 9 und die Planetenrollen 3-5 in Relativdrehung um die Spindel 1 versetzt. Aufgrund der "klammerartigen" Form der Magnetfeldspulen 16, 17, durch deren "Öffnungen" die Polstücke 10-15 laufen, wird eine gute magnetische Durchflutung der Polstücke 10-15 und somit eine gute elektromechanische Kraftübertragung erreicht, wobei es vorteilhaft ist, wenn die Polstücke 10-15 einstückig in die Distanzscheiben 8, 9 übergehen. Die Distanzscheiben 8, 9 bzw. die Polstücke 10-15 sind also integraler Bestandteil des mechanischen Getriebes sowie integraler Bestandteil des elektromagnetischen Wirkkreises, der das mechanische Getriebe antreibt.

[0032] Die Planetenrollen 3-5 weisen ferner mehrere V-förmige Einkerbungen 19 auf, in die zugeordnete V-förmige Profilierungen 20 eingreifen, die an der Innenseite des Hohlrades 2 vorgesehen sind. Die Planetenrollen 3-5 sind somit durch die V-förmige Profilierung 20 relativ zum Hohlrad 2 geführt.

[0033] Die Planetenrollen 5 weisen an ihrer Außenseite ferner eine Feinprofilierung 21 auf, die in ein an der Außenseite der Spindel 1 vorgesehenes Feinprofil 22 eingreift. Eine Drehung der Distanzscheiben 8, 9 bzw. der Planetenrollen 3-5 führt somit zu einer axialen Relativverschiebung der Spindel 1 gegenüber dem Hohlrad 2, den Planetenrollen 3-5 und den Distanzscheiben 8, 9, was in der eingangs genannten EP 0 320 621 A1 ausführlich erläutert ist. Mit dem gezeigten Linearantrieb ist eine Umwandlung einer Drehbewegung in eine Linearbewegung möglich, sofern mindestens eine der Profilierungen, d. h. die Grob- bzw. Feinprofilierung auf der Spindelstange 1, die Grob- bzw. Feinprofilierung der Planeten oder des Hohlrades 2 als Gewinde ausgeführt ist. Gebräuchliche Anordnungen kombinieren eine gewindeprofilisierte Spindelstange 1 mit einem Hohlrad bzw. einer Mutter, die steigungsfreie Stege als Profilierung aufweist, bzw. eine gewindeprofilisierte Mutter mit einer rillenprofilierten Spindelstange. Dabei sind die Planeten vorzugsweise rillenprofiliert oder weisen im Eingriff mit der gewindeprofilierten Komponente, d. h. der Mutter bzw. der Spindelstange, jeweils selbst auch ein Gewinde mit gleicher oder gegensinniger Steigung auf.

[0034] Die Integration von Getriebe und Motor erfolgt dadurch, daß die Distanzscheiben 8, 9 (Treibscheiben) am Ende der Planetenrollen 3-5 des Planeten-Wälz-Gewindespindelgetriebes (PWG) gleichzeitig als Rotor eines Elektromotors fungieren. Sie können so ausgeführt sein, daß sie für mindestens eines der verschiedenen Motorfunktionsprinzipien - Switched-Reluctance-Prinzip, Asynchronprinzip, Synchronprinzip - optimal gestaltet sind. Hier ist das Switched-Reluctance-Antriebsprinzip mit dafür geeigneter Distanzscheibenbauart dargestellt. Die von den Distanzscheiben 8, 9 radial abstehenden passive Polstücke 10-15 werden in das magnetische Feld der durch die Magnetfeldspulen 16, 17 gebildeten Statorpole gezogen. Schaltet man die Statorpole paarweise durch, so werden die Distanzscheiben 8, 9 in Drehbewegung versetzt.

[0035] Es ist sinnvoll, die beiden Distanzscheiben 8, 9 konstruktiv gleichartig auszuführen und die beiden "Antriebseinheiten" synchron zu betreiben, um Schräkbewegungen der Planetenrollen 3-5 allein durch das Antriebsprinzip zu unterbinden. Gegebenenfalls kann jedoch ein etwas "versetzter Feldverlauf" an den beiden Enden der Planetenrollen 3-5 dazu genutzt werden, um den Planetensatz gezielt zu verdrehen, was eine "Verkeilung" bzw. "Verklemmung", d. h. ein stark erhöhtes Bremsmoment, hervorruft. Dies kann sowohl für eine Feststellung im Stillstand - d. h. als elektromechanische Bremse zum Feststellen oder Halten - als auch für extrem hohe Bremsleistungen im Vorschubtrieb genutzt werden, was z. B. in Notaus-Situationen erforderlich ist.

[0036] Die in Fig. 1 dargestellte distanzscheibengetriebene Bauform eines integrierten Linearaktors (DIL-Bauform) bietet in Verbindung mit einem rillenprofilierten Planeten-Wälz-Gewindespindelgetriebe den Vorteil, daß die Gesamtsteigung des Systems der Steigung der Spindel 1 entspricht, d. h. es liegt ein steigungsgetreues System ohne Schlupf vor.

[0037] Das Hohlrad 2 bzw. die "Mutter" dient nur noch der Aufnahme radialer und axialer Kräfte sowie von Abstützmomenten. Dadurch wird eine Axiallagerung im Kraftfluß vollständig ersetzt, was Reibungsverluste verringert und den Gesamtwirkungsgrad wesentlich anhebt.

[0038] Fig. 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines muttergetriebenen bzw. hohlradgetriebenen integrierten Linearantriebes (MIL) - vgl. Fig. 3. Hier sind ebenfalls eine Spindel 1, ein Hohlrad 2 und dazwischen angeordnete Planetenrollen 3, 4 vorgesehen, die entsprechend Fig. 1 in ein Feinprofil 22 der Spindel 1 und eine Profilierung (nicht dargestellt) an der Innenseite des Hohlrades 2 eingreifen. Analog dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 sind die Planetenrollen 3, 4 in Distanzscheiben 8, 9 gelagert, die hier ringförmig gestaltet sind.

[0039] Im Gegensatz zum Ausführungsbeispiel der Fig. 1 sind hier an der Außenseite des Hohlrades 2 in Umfangsrichtung versetzt Polstücke 10, 11 angeordnet. Die Polstücke 10, 11 ragen analog zur Fig. 1 in von Magnetfeldspulen 16 gebildete Luftspalte 18, die hier ebenfalls nur schematisch dargestellt sind.

[0040] Bei diesem Ausführungsbeispiel fungiert somit die "Mutter" bzw. das Hohlrad 2 des Planeten-Wälz-Gewindespindelgetriebes gleichzeitig als Rotor eines Elektromotors. Das Hohlrad 2 bzw. dessen Polstücke 10, 11 können so ausgeführt sein, daß sie jeweils für mindestens eines der verschiedenen Motorfunktionsprinzipien (Switched-Reluctance-Prinzip, Asynchronprinzip, Synchronprinzip) optimal gestaltet sind.

[0041] Fig. 3 zeigt eine dem Ausführungsbeispiel der Fig. 2 entsprechende Darstellung eines muttergetriebenen integrierten Linearantriebes. Hier ist wiederum das Switched-

Reluctance-Prinzip mit dafür geeigneter Mutternbauart dargestellt. Das Hohlrad besitzt hier sechs ferromagnetische Pole 10-15, die über den Außendurchmesser des Hohlrades 2 überstehen und die hier axial von den Magnetfeldern durchflossen werden, die von acht Polen des Stators, d. h. von Magnetfeldspulen 16, erzeugt werden. Die hier dargestellten acht Statorpole sind getrennt gewickelt. Zwei gegenüberliegende Statorpole bilden jeweils ein magnetisch gegenseitig gerichtetes Polpaar. Das Hohlrad 2 erfährt ein Drehmoment, das seine Induktivität zu vergrößern tendiert. Die maximale Induktivität entsteht, wenn zwei Rotorpole genau unter einem aktiven Statorpolpaar liegen, d. h. ausgerichtet sind. Sobald der Rotor, d. h. das Hohlrad 2, diese ausgerichtete Position erreicht, wird die aktive Phase abgeschaltet und das nächste Polpaar wird aktiv geschaltet. Damit wird das nächste passive Rotorpolpaar in das Feld des aktiven Statorpolpaares gezogen. Diese Anordnung und Beschaltung wird als "Switched-Reluctance-Prinzip" bezeichnet. Schaltet man die klammerförmigen Statorpole, d. h. die Magnetfeldspulen 16, paarweise durch, so wird das Hohlrad 2 in Drehbewegung versetzt. Es sind auch Beschaltungen möglich, die gleichzeitig mehrere Polpaare bestromen, wodurch weichere Übergänge und ein ruhiger Lauf erreicht werden.

[0042] In Stirnflächen 23 des Hohlrades 2 können Axiallagerstütze eingearbeitet sein, was die Teilezahl und die Herstellkosten weiter senkt.

[0043] Auch bei diesem Ausführungsbeispiel kann die Antriebsleistung durch Vergrößerung der von den Magnetfeldern durchströmten Fläche erhöht werden. Das kann beispielsweise durch eine zwei- oder mehrreihige Polanordnung (vgl. Fig. 1) erreicht werden.

[0044] Fig. 4 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines planetensatzgetriebenen integrierten Linearantriebes (PIL). Hier dienen die Planetenrollen als Rotoren des Elektromotors. An den Enden 6, 7 der Planetenrollen (hier nicht zu erkennen) sind jeweils Permanentmagneten 24 vorgesehen, die in den Planetenrollen eine Nord-Süd- bzw. Süd-Nord-Magnetisierung bewirken. Die Planetenrollen sind hier analog zu den o. g. Ausführungsbeispielen durch Distanzscheiben 8 auf gleichmäßigem Abstand geführt. Der Antrieb erfolgt durch ein in axialer Richtung auf die Planetenenden 6, 7 gerichtetes wechselndes Magnetfeld, das durch die Magnetfeldspulen 16 erzeugt wird. Auch hier sind die Magnetfeldspulen 16 so verschaltet, daß der Planetensatz vom umlaufend geschalteten Wechselfeld angetrieben wird.

[0045] Die in Fig. 4 gezeigte PIL-Bauform bietet in Verbindung mit einem Planeten-Wälz-Gewindespindelgetriebe den Vorteil, daß die Gesamtsteigung des Systems genau der Steigung des Feingewindes der Spindel 1 bzw. der Mutter entspricht, d. h. es liegt ein steigungstreues System ohne Schlupf vor.

[0046] Wie bei der in Fig. 1 dargestellten DIL-Bauform ist keine zusätzliche Axiallagerung erforderlich. Die Mutter ist hier vollständig festgelegt, und die Spindel 1 ist gegen Verdrehen gesichert.

[0047] Fig. 5 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Linearantriebes, bei dem die Permanentmagneten 24 in die Distanzscheiben 8 bzw. 9 integriert sind. Im Vergleich zum Ausführungsbeispiel der Fig. 4 sind die Permanentmagneten 24, 25 radial außerhalb der Planetenrollen 3, d. h. in einem größeren Abstand von der Spindel 1, angeordnet, wodurch sich der "Hebelarm" des Elektromotors, d. h. dessen Leistung, erhöht.

[0048] Ferner ist eine Kombination des in Fig. 5 gezeigten "PIL-Prinzips" mit dem in Fig. 1 dargestellten "DIL-Prinzip" möglich. Die Permanentmagnete 24, 25 können in beiden Distanzscheiben 8, 9 angeordnet sein und mit zwei Spu-

lenreihen einen doppelreihigen Motor bilden (vgl. Fig. 1). Anstatt der in Fig. 1 gezeigten überstehenden Polstücke 10-15 können die Permanentmagnete 24, 25 in die Distanzscheiben 8, 9 integriert sein. Der Antrieb kann sowohl synchronisiert erfolgen als auch mit einer gezielten "Verdrillung", was im Zusammenhang mit Fig. 1 beschrieben wurde.

[0049] Bei einem weiteren möglichen Ausführungsbeispiel (nicht dargestellt) dienen ebenfalls die Planetenrollen im Satz als Rotoren des Elektromotors. An beiden Enden oder im gesamten Kern der Planetenrollen sind wiederum Permanentmagneten vorgesehen, die in den Planetenrollen eine Nord-Süd- bzw. Süd-Nord-Magnetisierung bewirken. In den Distanzscheiben werden die Planetenrollen auf gleichmäßigem Abstand geführt, d. h. auf eine Verzahnung kann verzichtet werden. Der Antrieb erfolgt durch ein in axialer Richtung auf die Planetenenden gerichtetes wechselndes Magnetfeld. Auch hier sind die Magnetfeldspulen so verschaltet, daß der Planetensatz vom "umlaufenden" Wechselfeld angetrieben wird. Günstig ist es, das Hohlrad festzulegen und die Axial- bzw. Vorschubbewegung von der Spindel abzunehmen.

[0050] Wahlweise kann auch nur ein Planetenträger als Rotor des Elektromotors dienen. Die Magneten sind dann in den Planetenträger eingelassen und in axialer Richtung jeweils Nord-Süd oder Süd-Nord magnetisiert.

[0051] Mit den dargestellten Direktantriebskonzepten können nicht nur Planeten-Wälz-Gewindespindelgetriebe und bauartähnliche Rollengewindegetriebe als vollintegrierte Antriebseinheiten ausgeführt werden. Vielmehr eröffnet die Integration von Getriebe, Elektromotor, Sensorik, lokaler Regelung bzw. eines Kommunikationsbussystems bzw. deren Funktionsvereinigung auch bei anderen Antriebskonzepten interessante Perspektiven. Planetengetriebe, Cyclogetriebe, Flex-Spline-Getriebe (Harmonic Drive), Differentialspindelgetriebe, Reibradgetriebe etc. können in analoger Weise betrieben werden. Insbesondere solche Bauformen, die auch bei schlupfbehafteter Leistungsübertragung einen Antrieb ermöglichen, der steigungstreu Vorschub garantiert, sind von Bedeutung, weil kein Wegmeßsystem und keine Axiallagerung mehr erforderlich sind. Bauprinzipbedingt lassen sich mit Planeten-Wälz-Gewindespindelgetrieben besonders kleine Systemsteigerungen realisieren, die deswegen auch bei hohen Axiallasten nur relativ geringe Antriebsmomente erfordern.

[0052] Analog gilt für sog. "Harmonic-Drive-Getriebe" bzw. "Flex-Spline-Getriebe", daß mit ihnen sehr hohe Unter- bzw. Übersetzungen spielfrei zu realisieren sind.

[0053] Speziell bei diesen Antriebskonzepten lassen sich die Vorteile einer hohen Integration durch mehrfache Nutzung der Bauelemente und Zusammenführung von Mechanik, elektrischer Antriebstechnik und Sensorik, ggf. erweitert durch eine damit verbundene Regelung des Gesamtantriebes und eine Datenübertragung besonders platz-, material- und kostensparend sowie energieverbrauchsoptimiert nutzen.

[0054] Fig. 6 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines mechatronischen Aktuators mit einem Ellipsoid-Umlaufgetriebe. Dieser mechatronische Aktuator weist ein Hohlrad 26, ein radial elastisches becherartiges Teil 27 sowie ein Ellipsoid-Kugellager auf, das aus einem radial elastischen Außenring 28 und einem starren Innenring 29 besteht. Der Innenring 29 hat in der Draufsicht, d. h. in Axialrichtung gesehen, eine leicht elliptische Form, was in der vorliegenden perspektivischen Darstellung nicht erkennbar ist.

[0055] An der radial inneren Seite des Innenrings 29 sind in Umfangsrichtung beabstandet Polstücke 10, 11 angeordnet, die ähnlich wie bei den obigen Ausführungsbeispielen

klammerartig von Magnetfeldspulen 16, 17 umgriffen werden. Ähnlich wie bei einem herkömmlichen Kugellager sind zwischen dem Innenring 29 und dem Außenring 28 Kugeln 30 vorgesehen, die auf einer äußeren Lauffläche des Innenrings 29 bzw. auf einer inneren Lauffläche des Außenrings 28 abrollen.

[0056] Der Außenring 28 ist an der radial inneren Seite des becherartigen Teils 27 befestigt. Das becherartige Teil 27 und der Außenring 28 haben im Gegensatz zu dem Innenring 29 relativ hohe radiale Elastizität.

[0057] An der Außenseite des becherartigen Teils 27 ist eine Außenverzahnung vorgesehen, die in eine zugeordnete Innenverzahnung des Hohlrades 26 eingreift. Eine Besonderheit des Ellipsoid-Umlaufgetriebes besteht darin, daß das Hohlrad 26 und das becherartige Teil 27 unterschiedliche Zähnezahlen haben.

[0058] Das Hohlrad 26 ist nämlich kreisförmig, wohingegen das radial elastische becherartige Teil 27 und der Außenring 28 eine ovale bzw. elliptische Form haben, entsprechend der elliptischen Form des Innenrings. Die Außenverzahnung des becherartigen Teils 27 steht somit nur an zwei diametral gegenüberliegenden Stellen mit der Innenverzahnung des Hohlrades 26 in Eingriff. Die Eingriffsstellen entsprechen der Drehstellung der langen Hauptachsen der Ellipsen, d. h. der langen Hauptachsen des elliptischen Innenrings 29 bzw. des entsprechend verformten Außenrings 28 und des becherartigen Teils 27. Bei einem konkreten Ausführungsbeispiel besteht zwischen dem Hohlrad 26 und dem becherartigen Teil 27 eine Zahndifferenz von genau zwei Zähnen.

[0059] Das Hohlrad 26 und das becherartige Teil 27 weisen ferner jeweils in Umfangsrichtung beabstandete Flanschlöcher 31 bzw. 32 auf.

[0060] Im folgenden wird die Funktionsweise näher erläutert. Durch eine geeignete zeitliche Ansteuerung der Magnetfeldspulen 16, 17 werden an den Polstücken 10, 11 Umfangskräfte erzeugt, die den elliptischen Innenring 29 in Drehung versetzen. Bei der Drehung des Innenrings 29 überträgt sich dessen elliptische Form über die Kugeln 30 auf den Außenring 28 bzw. das radial elastische becherartige Teil 27. Der Außenring 28 bzw. das becherartige Teil 27 werden also entsprechend radial elliptisch verformt. Folglich laufen die Hauptachsen des becherartigen Teils 27 bzw. des Außenrings 28 entsprechend der Drehung des elliptischen Innenrings 29 um, wobei die Außenverzahnung des becherartigen Teils 27 an den diametral gegenüberliegenden Eingriffsstellen auf der Innenverzahnung des Hohlrades 26 abwälzt. Somit wird eine Drehbewegung vom Innenring 29 auf das becherartige Teil 27 übertragen.

[0061] Entsprechend den obigen Ausführungsbeispielen bildet auch hier ein mechanisches Getriebeteil, nämlich der elliptische Innenring 29 ein Teil eines elektromotorischen Wirkkreises. Dieser auf einem Ellipsoid-Umlaufgetriebe basierender mechatronischer Aktuator hat im Vergleich zu herkömmlichen Stufengetrieben eine große Untersetzung und eine kompakte Bauweise, da die Drehachse des Antriebs- teils, d. h. des elliptischen Innenrings 29 mit der Drehachse des Abtriebs- teils, d. h. mit dem becherartigen Teil 27, zusammenfällt.

Patentansprüche

1. Mechatronischer Aktuator mit einem Getriebe, mindestens einem Statorteil, das mehrere in Umfangsrichtung des Aktuators verteilt angeordnete Magnetfeldspulen aufweist, und mit mindestens einem beweglichen Teil, das mit den Magnetfeldspulen einen elektromotorischen Wirkkreis bildet, dadurch gekennzeichnet,

net, daß das bewegliche Teil des elektromotorischen Wirkkreises gleichzeitig ein Getriebeteil (10-15) ist.

2. Mechatronischer Aktuator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Gewindespindel vorgesehen ist, die an ihrer Außenseite eine Feinprofilierung aufweist, ein die Spindel umschließendes Hohlrad, das an seiner Innenseite eine Grobprofilierung aufweist, und Planeten, die in Umfangsrichtung versetzt zwischen der Spindel und dem Hohlrad angeordnet sind, wobei die Planeten an ihren Außenseiten jeweils eine Feinprofilierung aufweisen, die in Axialrichtung der Spindel in die Feinprofilierung der Spindel eingreift, und eine Grobprofilierung, die in Axialrichtung in die Grobprofilierung des Hohlrades eingreift, und daß das Getriebeteil ein Rotor ist, der durch das Hohlrad (2), die Planeten (3-5), mindestens eine die Planeten (3-5) verbindende Distanzscheibe (8, 9) oder durch die Gewindespindel (1) gebildet ist.

3. Mechatronischer Aktuator nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Planeten (3-5) durch mindestens eine um die Spindel (1) drehbare Distanzscheibe (8, 9) relativ zueinander in Umfangsrichtung der Spindel (1) positioniert sind, wobei die Planeten (3-5) drehbar in der mindestens einen Distanzscheibe (8, 9) gelagert sind.

4. Mechatronischer Aktuator nach einem der Ansprüche 2 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Distanzscheiben (8, 9) vorgesehen sind und die Planeten (3-5) mit ihren beiden axialen Enden (6, 7) drehbar in den Distanzscheiben (8, 9) gelagert sind.

5. Mechatronischer Aktuator nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor durch das Hohlrad (2) gebildet ist, wobei am Außenumfang des Hohlrades (2) mehrere radial abstehende, in Umfangsrichtung voneinander beabstandete Rotorpole (10-15) vorgesehen sind.

6. Mechatronischer Aktuator nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor durch die Distanzscheiben (8, 9) gebildet ist, wobei am Außenumfang der Distanzscheiben (8, 9) mehrere radial abstehende, in Umfangsrichtung voneinander beabstandete Rotorpole (10-15) vorgesehen sind.

7. Mechatronischer Aktuator nach einem der Ansprüche 2 bis 4 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor durch die Distanzscheiben (8, 9) und Permanentmagnete (24, 25) gebildet ist, die an den Distanzscheiben (8, 9) in Umfangsrichtung voneinander beabstandete angeordnet sind.

8. Mechatronischer Aktuator nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor durch die Planeten (3-5) und Permanentmagnete (24, 25) gebildet ist, die in den axialen Enden (6, 7) der Planeten (3-5) angeordnet sind.

9. Mechatronischer Aktuator nach einem der Ansprüche 2, 5 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Planeten (3-5) allein durch ihren mechanischen Eingriff in die Gewindespindel (1) bzw. in das Hohlrad (2) positioniert sind.

10. Mechatronischer Aktuator nach Ansprüchen 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Getriebeteil ein elliptischer Ring (29) eines Ellipsoid-Umlaufgetriebes ist.

11. Mechatronischer Aktuator nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß an einer Innenseite des elliptischen Ringes (29) radial abstehende Polstücke (10, 11) vorgesehen sind.

12. Mechatronischer Aktuator nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß der elliptische Ring

(29) ein Innenring ist, der gegenüber einem radial elastischen Außenring (27, 28) drehbar ist und diesen radial elliptisch verformt, wobei der Außenring (27, 28) eine Außenverzahnung aufweist, die an diametral gegenüberliegenden Stellen mit einer Innenverzahnung eines Hohlrades in Eingriff steht.

13. Mechatronischer Aktuator nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Sensor, insbesondere ein Temperatursensor, Weg-, Geschwindigkeits-, Beschleunigungs-, Winkel-, Drehmomenten-, Torsionsmomenten-, bzw. Zeitsensor integriert ist.

14. Mechatronischer Aktuator nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetfeldspulen (16, 17) C-förmig bzw. U-förmig sind, wobei die Magnetfeldspulen (16, 17) das Getriebeteil (10-15) klammerartig umgreifen und daß zwischen den Magnetfeldspulen (16, 17) und dem Getriebeteil (10-15) Luftspalte (18) vorgesehen sind.

15. Mechatronischer Aktuator nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetfeldspulen (16, 17) die Form eines offenen Ringes haben, wobei die Ringebenen in Umfangsrichtung beabstandete Axialschnittebenen des Aktuators sind.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

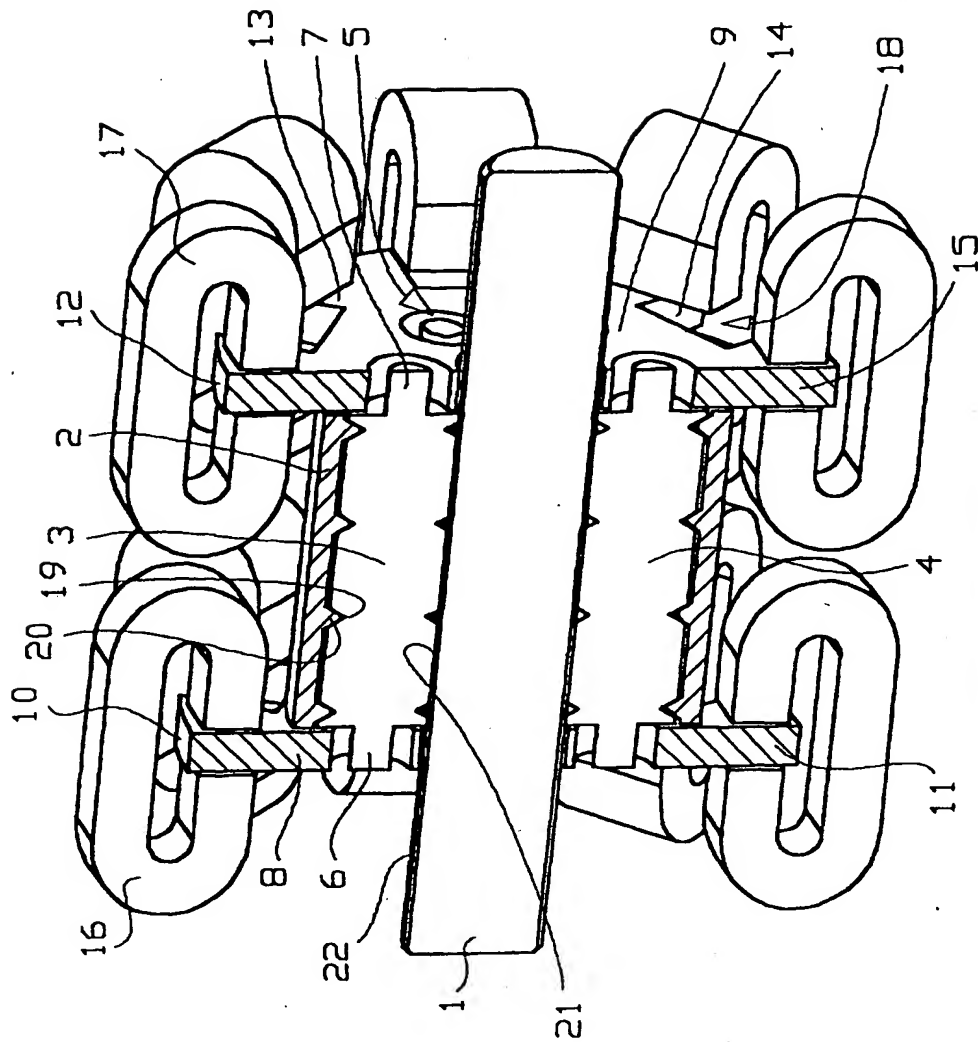


Fig. 1

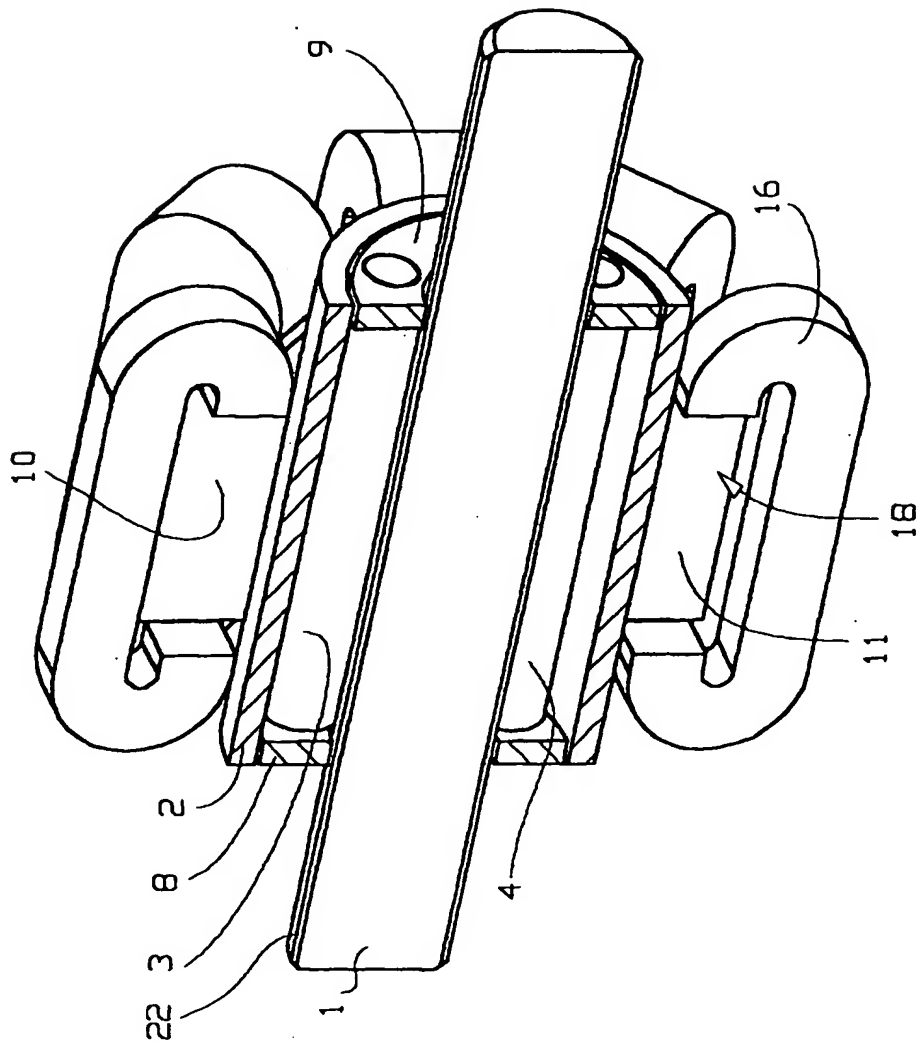


Fig. 2

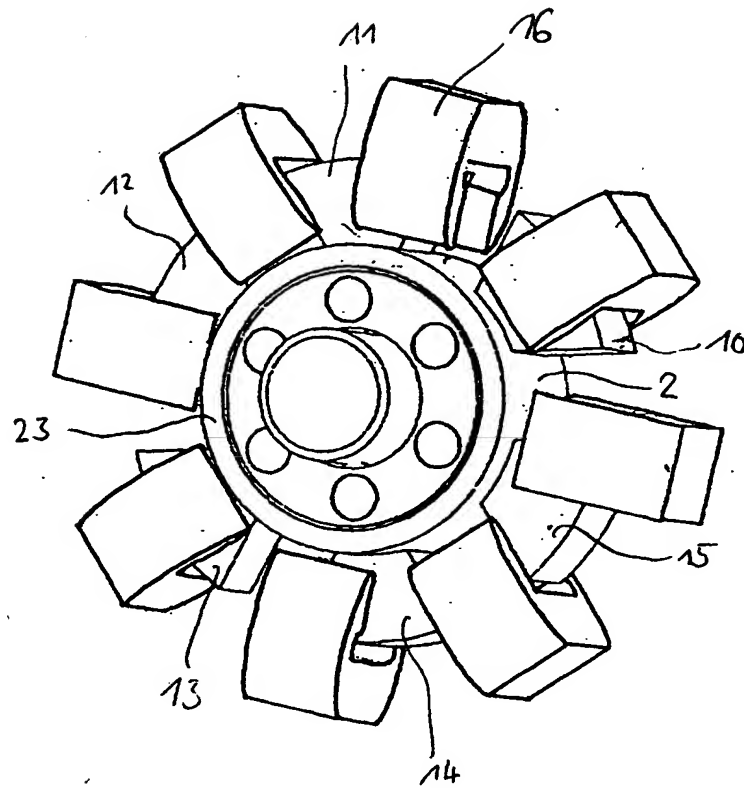


Fig. 3

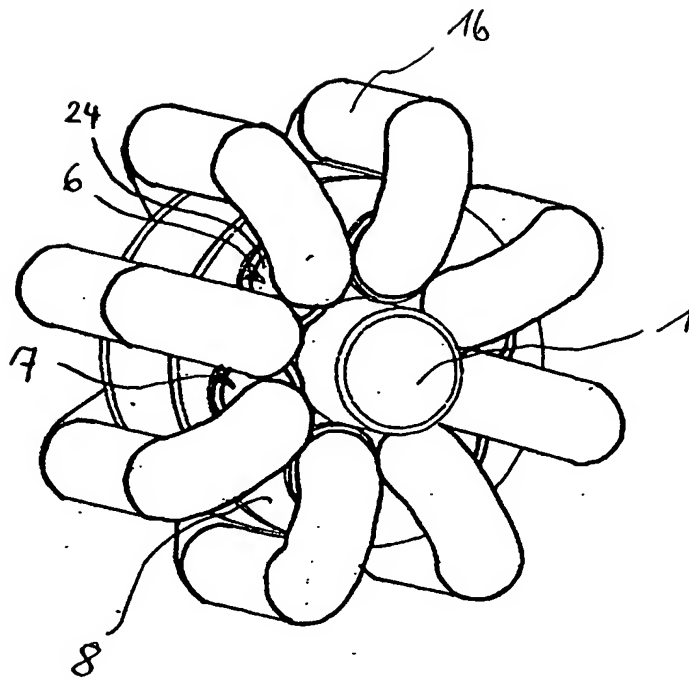


Fig. 4

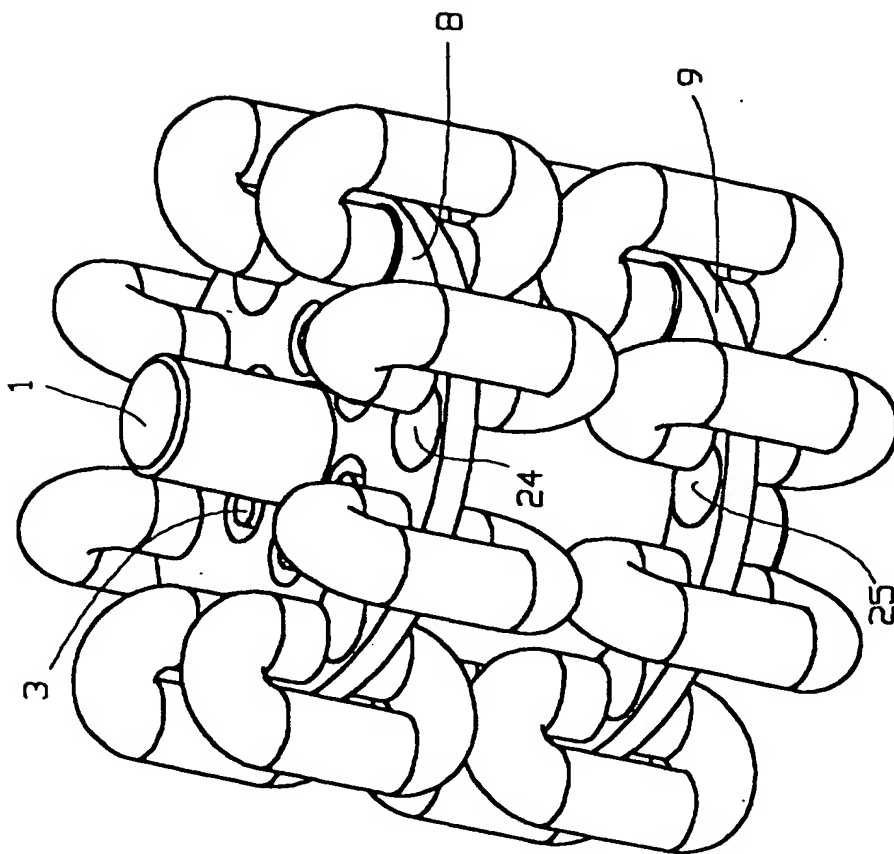


Fig. 5

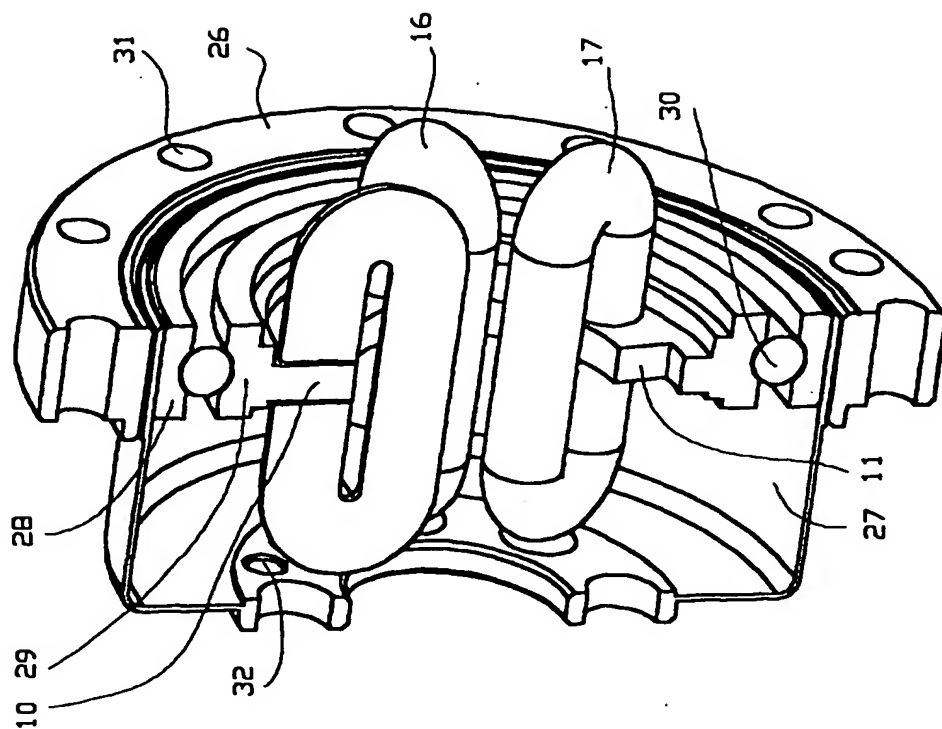


Fig. 6

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.